

## DISEÑO DE MONTURA DAVIES-COTTON DE TELESCOPIO CHERENKOV DE 6M DE DIÁMETRO PARA EL PROYECTO CTA

Marcos D. Actis, Pablo L. Ringegni, Asdrubal Bottani, Gonzalo Vallejo

Unidad de Investigación y Desarrollo Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados - UID GEMA -  
Departamento de Aeronáutica - Facultad de Ingeniería – UNLP.  
Calle 116 entre 47 y 48 La Plata (1900). e.mail: [ringegni@ing.unlp.edu.ar](mailto:ringegni@ing.unlp.edu.ar)

Palabras claves: CTA, Cherenkov, telescopio, estructura, mecanismos

### Introducción:

En los últimos años, la actual generación de observatorios terrestres como HESS, MAGIC y VERITAS ha conducido exitosamente la observación en el campo de la astronomía de rayos gama de muy alta energía con un aumento significativo de observaciones de fuentes y de observaciones detalladas sobre muchos objetos relevantes.

Para la próxima generación de instrumentos de observación de rayos gamma desde tierra, la comunidad internacional a través del proyecto Europeo Cherenkov Telescope Array (CTA) prevee la construcción de un observatorio en cada hemisferio, con el objeto de observar rayos gamma de fuentes astronómicas en diferentes rangos de altas energías (desde 20 GeV hasta 300 TeV). De esta manera CTA observará el cielo con una sensibilidad un orden superior a los sistemas actuales y con una mejora en la resolución angular. Cada observatorio, donde la Argentina figura entre los primeros candidatos como sitio para su emplazamiento, constará de un arreglo de más de 60 telescopios Cherenkov de tres diferentes tamaños (los de gran tamaño (LSTs), los de mediano tamaño (MSTs) y los de pequeño tamaño (SSTs)), según el rango de energías que deban cubrir. Para las energías más altas a observar ( $> 1\text{TeV}$ ), los arreglos utilizarán aproximadamente 50 telescopios (SST's) de 6 m. de diámetro, distribuidos en una superficie del orden de los 10 Km<sup>2</sup>.

El Proyecto CTA considera dos tipos de telescopios de 6 m: el Schwarzschild-Couder (SC) (Vassiliev & Fegan, 2008), de doble espejo, y el Davies-Cotton (DC) (Lewis 1990) de espejo simple, ambos con espejos facetados. Con el tipo SC se logran disminuir las aberraciones ópticas y temporales de los pulsos, además de una reducción de la escala en el plano focal, lo cual baja el tamaño y costo de la cámara (aún en vías de desarrollo), pero contempla una estructura y un mecanismo o sistema de alineación de los espejos más complejos. El diseño DC, desarrollado por nuestro equipo de trabajo, es estructuralmente robusto, más simple, menos sensible a las deformaciones, de menor costo, de mayor simplicidad de construcción y bajo y sencillo mantenimiento. Sin embargo la cámara que es necesaria para detectar los rayos gama en estos SST es más grande y potencialmente más costosa. Para equilibrar los costos de la cámara y el montaje, una primera alternativa que se consideró es cubrir el área aproximada de los 10 Km<sup>2</sup> con menor cantidad de SSTs pero con una configuración del área de espejos relativamente grande.

Este diseño de montura DC de 6 m de diámetro, con un área de espejos facetados, se desarrolló cumpliendo con las especificaciones requeridas por parte del proyecto CTA. Se analizaron diferentes configuraciones estructurales y mecanismos actuadores para generar los movimientos de acimut y elevación del telescopio. El esquema estructural general adoptado finalmente consiste en un reticulado espacial conformado por tubos de acero soldados y tensores y está formado por tres grandes partes preparadas para ensamblar in situ. En este trabajo se muestra el diseño de la configuración estructural finalmente adoptada y los resultados obtenidos por simulación por elementos finitos respecto a las tensiones, pandeo y modos naturales de oscilación. También, se exponen el diseño de los mecanismos para los movimientos de acimut y elevación.

## Resultados y Discusión:

### 1-Diseño y análisis de la estructura:

La estructura general del telescopio diseñado se muestra en la Fig.1 y está formada por tres partes diferentes: la estructura inferior o acimutal, la estructura superior o de elevación y la estructura soporte de los espejos facetados (Fig.2 de izq. a derecha).

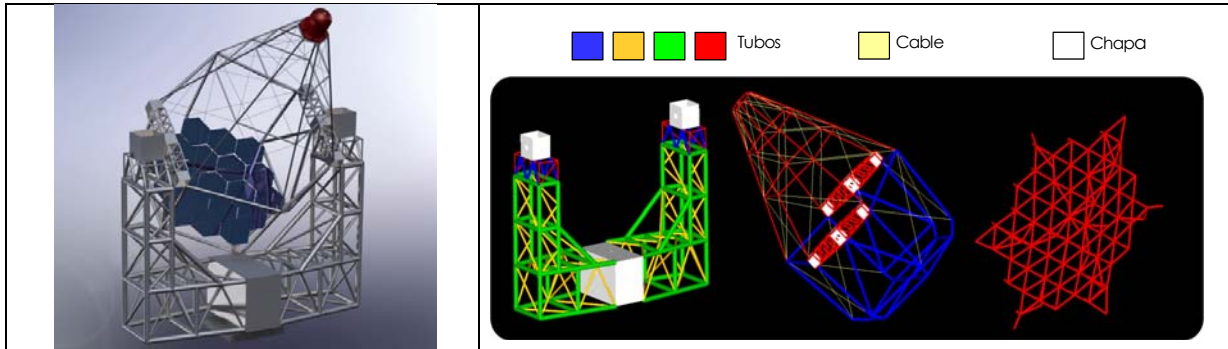


Fig.1

Fig.2

La estructura acimutal, que está sometida fundamentalmente a esfuerzos flexionales y torsionales, determinó que se adoptara un reticulado espacial tipo cajón cerrado cuyos componentes son tubos estructurales con costura. Se prevé su construcción en tres tramos, los dos reticulados verticales y el reticulado horizontal, a los efectos de facilitar su transporte al sitio de emplazamiento. La estructura de elevación consiste en una estructura tronco piramidal de base hexagonal en la cual cada cara es un reticulado con cordones y montantes formados por tubo estructural y diagonales constituidas por tensores. Se completa con dos vigas reticuladas tipo cajón en los laterales para llevar los esfuerzos a través del eje a la estructura acimutal. Finalmente la estructura soporte de espejos es una estereo estructura de dos capas de contorno hexagonal que conforma la base de la anterior y cumple la doble función de soportar la carga de los espejos y las acciones del viento sobre los mismos, proveyendo a su vez un plano que rigidiza la estructura de elevación.

#### 1.1-Consideraciones y requerimientos:

Para evaluar el comportamiento de la estructura propuesta se consideró:

|  |   |
|--|---|
| -Material de los tubos estructurales                 | Norma IRAM-IAS U500-2592, calidad TE-22 |
| -Las cargas de viento actuantes sobre la estructura: | Norma CIRSOC 102-82 .                   |
| -Peso de la cámara:                                  | 16000 N                                 |
| -Diámetro de la cámara:                              | 1.20 m                                  |
| -Diámetro del área de espejos:                       | 6 m                                     |
| -Peso de la estructura completa:                     | 125 kN                                  |
| -Longitud de los espejos de lado a lado:             | 1.20 m                                  |
| -Ángulos (elevación / acimut):                       | -60° a 90° / 360°                       |
| -Rango de temperaturas:                              | -30 a 50 °C                             |
| -Frecuencia natural:                                 | >2.5 Hz                                 |
| -f/d (foco / diámetro) / FoV (field of view)         | 1,8 / ≤ 8°                              |
| -Sombra generada por estructura soporte de cámara:   | 5% del área del arreglo de espejos      |

#### 1.2-Análisis estructural:

Se analizaron diferentes situaciones de carga de acuerdo a las condiciones de operación siguientes: (para esto se utilizó una modelación y cálculo por elementos finitos)

a-Operación: Máxima velocidad de viento en condiciones de observación: 50Km/h

Los parámetros a evaluar fueron los desplazamientos y su afectación al desempeño óptico del telescopio. Para comprender la respuesta de la estructura ante la variación del ángulo de elevación se confeccionaron los gráficos correspondientes (Fig3.)

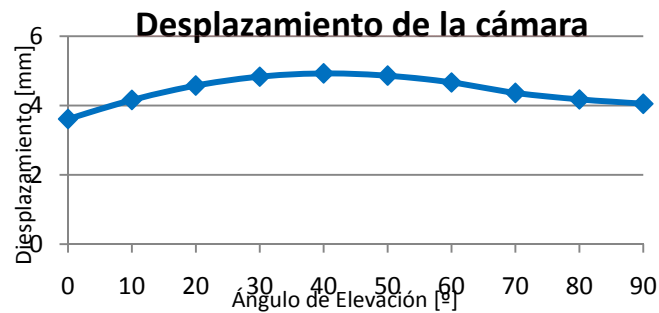


Fig 3

b-Posición de Parking: -Máxima velocidad de viento con mecanismos en operación: 100km/h  
 -Se realizaron los cálculos para los siguientes peores casos de carga (Fig.4): para el eje de elevación con viento frontal y un ángulo de elevación de 45° y para el eje de acimut con elevación de 0° y viento cruzado a 45°.

Se obtuvieron los siguientes resultados de carga que fueron utilizados para dimensionar los mecanismos con el fin de asegurar su correcto funcionamiento y posición de parking.

-Momento máximo en los ejes: elevación: 30000 Nm cada uno - acimut: 42000 Nm

c-Situación Límite (supervivencia): -Máx. velocidad de viento en *parking*: 180Km/h (Fig.5)

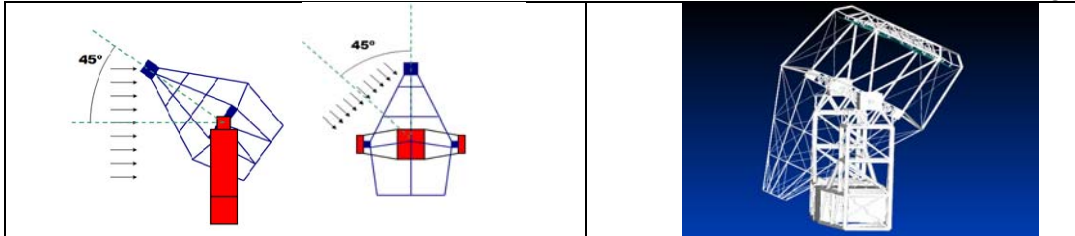


Fig4

Fig.5

Se analizaron las tensiones y deformaciones de la estructura (Fig.6) para verificar que mantenga su integridad sin deformaciones permanentes ante los estados de carga extremos, lográndose un margen de seguridad de la estructura de 1.97

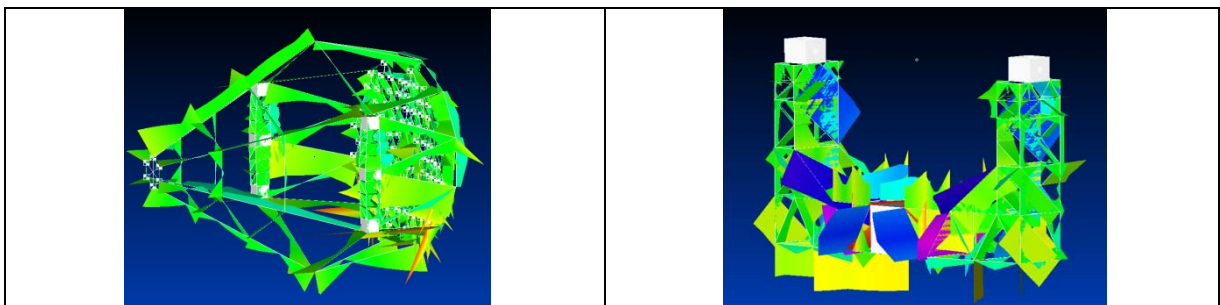


Fig.6. Ejemplos de las distribuciones de tensiones y deformaciones obtenidas

Se realizó el cálculo de inestabilidad (pandeo) de todos los elementos de la estructura determinándose un margen de seguridad positivo de 1.83.

Para el caso de análisis dinámico se obtuvo una frecuencia de resonancia mínima de 3.5 Hz. El punto clave a resolver en esta instancia fue la determinación del diámetro de los ejes de elevación.

## 2-Diseño y Análisis de los mecanismos:

El telescopio consta con dos sistemas mecánicos, uno para el eje de elevación (doble) y otro para el eje de acimut (simple) (Fig.7). En ambos casos se decidió utilizar servomotores con

reductoras para accionar los movimientos por su capacidad de mantener constante el par nominal incluso estando detenidos, esto permite realizar el cambio de velocidad entre las fases de seguimiento y posicionamiento en las que opera el telescopio, solo modificando las velocidad de giro del servomotor. También se emplearon sistemas de piñón - corona

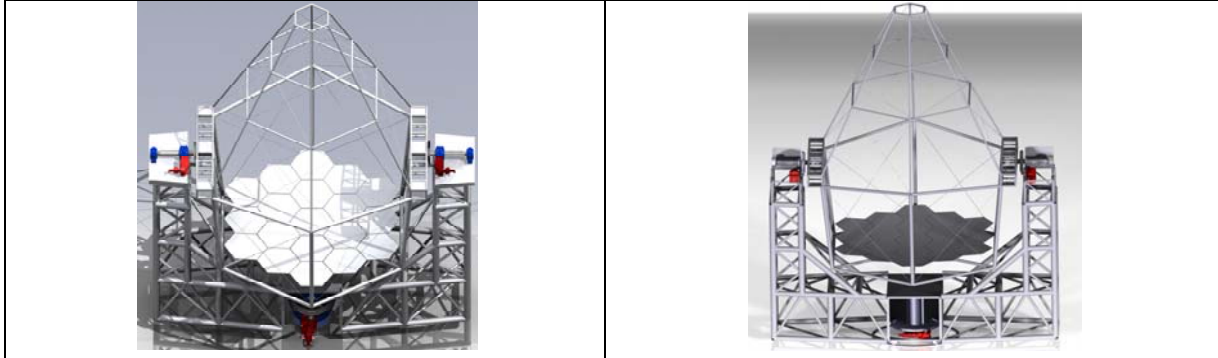


Fig.7 –Mecanismos: elevación (uno a cada lado, parte superior) y acimut (uno inferior)

#### 2.1-Consideraciones para el Diseño de los Mecanismos:

- Cualquier maniobra de posicionamiento con tiempo de duración menor a 1 minuto
- Velocidad ángulo de seguimiento (acimut y elevación):  $15^\circ/\text{h}$ .
- Velocidad ángulo de posicionamiento del eje: elevación: 0,5rpm. acimut: 1.35 rpm.
- Aceleración angular del eje de elevación en posicionamiento:  $0,2^\circ/\text{s}^2$ .
- Aceleración angular del eje de acimut en posicionamiento:  $0,54^\circ/\text{s}^2$
- Tiempo de aceleración (acimut y elevación): 15s.
- Precisión de posicionamiento:  $\pm 2,5\text{arcseg}$ .
- Máximo viento: Para operación: 100 Km/h. Supervivencia (Parking): 180 Km/h
- Máximo torque para el eje de elevación: 50.000 Nm
- Máximo torque del eje de acimut: 123.180 Nm (supervivencia), 48.810 Nm (operación)

#### 2.2-Análisis y Diseño de los mecanismos:

Para el diseño de los mecanismos de elevación y acimut se consideraron los siguientes casos de carga de viento: 50km/h para operación normal, 100km/h para mover el telescopio a posición de parking y 180km/h en posición de parking (supervivencia).

##### 2.2.1-Mecanismo de acimut:

El estado de carga analizado más crítico considerado para el dimensionado de este mecanismo es el que tiene en cuenta un viento de 180 Km/h con dirección a  $45^\circ$  respecto del eje de la cámara y posición de parking. (Fig.8). Este estado de carga genera un torque máximo de 123 kNm que dimensiona los dientes de la corona de orientación y los servorreductores. Para la condición de operación, el momento máximo dimensionante fué de 48.8 kNm. Para el dimensionado de los rodamientos, el estado de carga que se toma es el que considera un viento de 180 Km/h con dirección frontal y en posición de parking. (Fig.9)

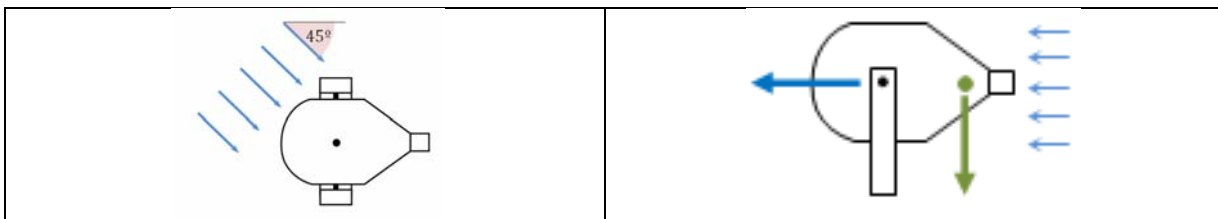


Fig.8

Fig 9

El mecanismo de acimut diseñado (Fig.10) posee un único rodamiento denominado “corona de orientación” que es capaz de soportar esfuerzos radiales, axiales y momentos. Se acciona mediante dos servo reductores que fueron dimensionados para mantener detenido el telescopio cuando se encuentra en condición de estacionamiento “parking” y sometido a máximo viento. La corona de orientación se abulona a dos soportes para no concentrar tensiones sobre los elementos rodantes. Los servorreductores se colocan enfrentados para distribuir los esfuerzos sobre la estructura.

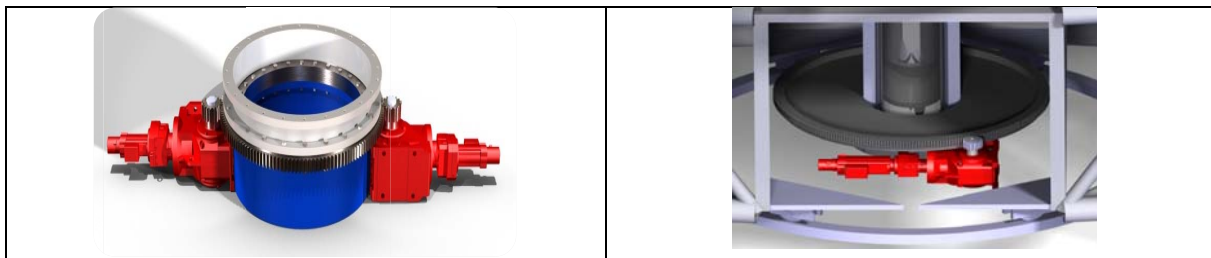


Fig.10. Mecanismo de movimiento de acimut

Las especificaciones adoptadas para este mecanismo se presentan a continuación:

- Par de la reductora: 8000. Nm
- Relación de reducción de la reductora: 1:251.
- Diámetro de la corona: 1440mm.
- Diámetro del piñón: 170 mm
- Relación piñón corona: 1:8,47. (juego: 2.1 arcmin)
- Servomotor: asíncrono, 23.5 Nm, 3000 rpm con freno electromagnético

#### 2.2.2-Mecanismo de elevación:

De los estados de carga analizados, el más crítico para el dimensionado de este mecanismo es el que tiene en cuenta un viento de 100 Km/h con dirección frontal y posición de 40° de elevación. Este estado de carga genera un torque máximo de 25 kNm por cada eje y que dimensiona también los dientes de la corona de orientación y los servo reductores.

Para el dimensionado de los rodamientos se toman los tres siguientes estados de carga: máximo viento frontal de 180 Km/h y posición de parking; máximo viento lateral de 180 Km/h y posición de parking y viento frontal de 100 Km/h, condición operativa hacia supervivencia I y elevación de 40° (Fig.11)

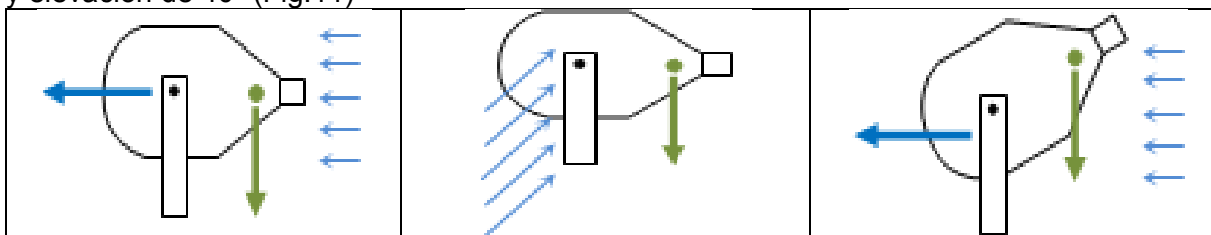


Fig.11

Estos casos de carga generan cargas radiales de 46 kN y 103 kN y cargas axiales de 24 kN y 28 kN (cargas en rodamientos externo e interno respectivamente) utilizadas para la selección de los rodamientos

El mecanismo de elevación diseñado (Fig.12) cuenta con un eje que posee dos rodamientos, uno interior y otro exterior. Dado el elevado par que toma este eje y que se genera en el cuerpo de elevación del telescopio se coloca un equipo moto-reductor en cada extremo para distribuir la carga y evitar la deformación asimétrica de la estructura. Para minimizar el tamaño de los servorreductores y lograr la reducción de velocidad adecuada se incorpora al sistema un juego piñón-corona. Las cajas porta-rodamientos y la reductora se abulon al mismo plano. La corona se fija directamente en la estructura para aumentar la frecuencia del primer modo de vibración.



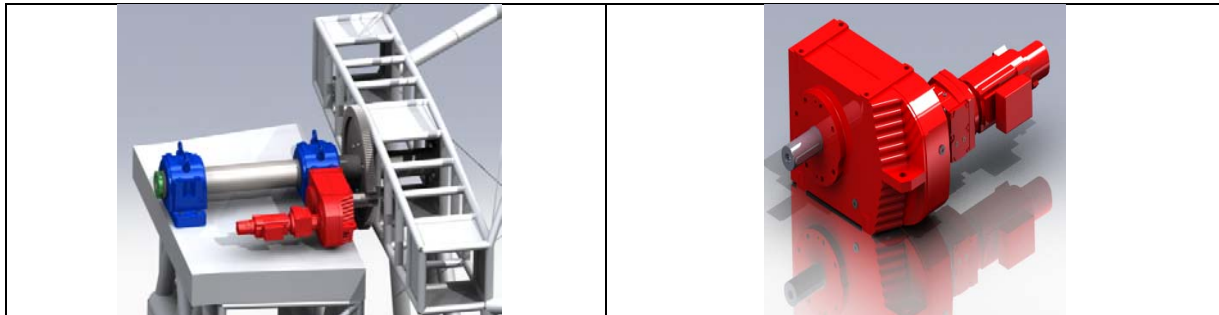


Fig. 12 Mecanismo de movimiento de elevación.

Las especificaciones adoptadas para este mecanismo se presentan a continuación:

- Par de la reductora: 4.300Nm.
- Relación de reducción de la reductora: 1:251.
- Diámetro de la corona: 900mm.
- Diámetro del piñón: 102 mm
- Relación piñón corona: 1:8,82. (juego: 1.5 arcmin)
- Rodamientos de rodillos a rótula.
- Servomotor: asíncrono, torque 11 Nm con freno electromagnético

### Conclusiones:

La estructura diseñada del telescopio con una masa de 125 kN cumple las condiciones estructurales y mecánicas de diseño para los estados de carga analizados (en operación normal, y supervivencia hasta 180 km/h en posición de parking). De los análisis realizados con los diferentes estados de carga considerados, se obtuvieron niveles de tensiones por debajo del nivel de tensión de diseño del material y no se encontraron elementos que pandearan en la estructura. Desde el punto de vista dinámico, todos los modos de vibración de la estructura son superiores a 2.5Hz, cumpliendo con los requerimientos de CTA. Los mecanismos de acimut y elevación de este telescopio se diseñaron y seleccionaron para soportar los estados de carga y cumplir con los requerimientos de alcanzar cualquier posición en menos de 1 minuto cumpliendo con valores de velocidad (aceleración): elevación = 0,5 rpm (0,2  $\text{°/s}^2$ ); acimut = 1 rpm (0,4  $\text{°/s}^2$ ).

Por otra parte personal del IAFE (Instituto de Astronomía y Física del Espacio) fue el encargado de realizar el estudio de las aberraciones determinando que las mismas están completamente dominadas por el sistema óptico y que la influencia de las deformaciones de la estructura y la montura de los espejos es despreciable para cualquier estado de carga del telescopio. Esto permite concluir que el diseño del telescopio cumple con los requerimientos impuestos por CTA

### Bibliografía:

1. Lewis, D. A. (1990). Experimental Astronomy, 1, pp 213-236.
2. Rovero, A.C. (2009), BAAA 53.
3. Vassiliev, V. & Fegan, S.J. (2008). 30th ICRC, 3, pp 1445-1448.
4. Lewis, D.A.: Optical characteristics of the Whipple Observatory TeV gamma-ray imaging telescope. Experimental Astronomy 1, 213-236, (1990)
5. Rovero, A.C., et al.: Optical performance related to mechanical deformations of a Davies-Cotton mount for the high energy section of the Cherenkov Telescope Array. 32nd ICRC, Vol 9, 46-49 (2011)
6. White, R., et al.: Telescopes for the High Energy Section of the Cherenkov Telescope Array. 32nd ICRC, Vol 9, 58-61 (2011)
- 7- Manuales SKF
- 8- Manuales SEW